

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-122545

(43)Date of publication of application : 17.05.1996

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 06-257060

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

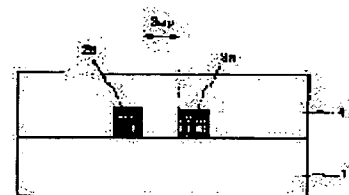
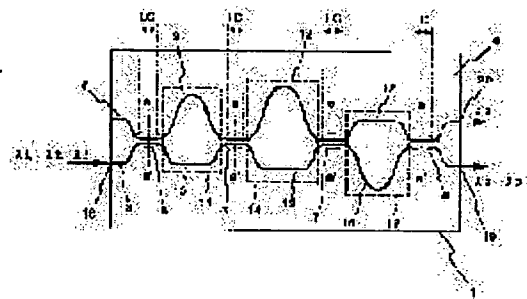
(22)Date of filing : 21.10.1994

(72)Inventor : ARAI HIDEAKI  
UETSUKA NAOTO

## (54) WAVEGUIDE TYPE OPTICAL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER

(57)Abstract:

PURPOSE: To extend one band without narrowing the other band.

CONSTITUTION: In the waveguide type optical multiplexer/demultiplexer which allows light of the band including wavelengths  $\lambda_1$  and  $\lambda_3$  to pass through and couples light of the band including a wavelength  $\lambda_2$ ,waveguide length differences  $\Delta L_1$  and  $\Delta L_2$  of phase difference giving parts 11, 14, and 17 and a coupling rate  $\kappa(\lambda_2)$  of the wavelength  $\lambda_2$  of directional couplers 5 to 8 satisfy conditional formulas  $\Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_3 / n_{\text{eff}}(\lambda_3)$ ,  $P_c(\lambda_2) = 4 \cdot \kappa(\lambda_2) \cdot [1 - \kappa(\lambda_2)] \cdot \cos[2 \cdot n_{\text{eff}}(\lambda_2) \cdot p \cdot \Delta L_1 / \lambda_2] = 0.5$ ,  $2 \cdot N_2 = \lambda_1 / n_{\text{eff}}(\lambda_1) / \text{verbar} \lambda_1 / n_{\text{eff}}(\lambda_1) - \lambda_2 / n_{\text{eff}}(\lambda_2) \text{verbar}$ , and  $\Delta L_2 = (N \pm 0.5) \cdot \lambda_1 / n_{\text{eff}}(\lambda_1) = N \cdot \lambda_2 / n_{\text{eff}}(\lambda_2)$  where  $N_1$  and  $N_2$  are integers and  $n_{\text{eff}}(\lambda)$  is the equivalent refractive index of waveguides 2 and 3 to light of the wavelength  $\lambda$ .

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.07.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3175499

[Date of registration] 06.04.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特許公報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第 3 1 7 5 4 9 9 号

(P 3 1 7 5 4 9 9)

(45) 発行日 平成13年6月11日 (2001. 6. 11)

(24) 登録日 平成13年4月6日 (2001. 4. 6)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

G 0 2 B 6/12

F

請求項の数 2

(全 1 1 頁)

(21) 出願番号 特願平6-257060

(22) 出願日 平成6年10月21日 (1994. 10. 21)

(65) 公開番号 特開平8-122545

(43) 公開日 平成8年5月17日 (1996. 5. 17)

審査請求日 平成11年7月2日 (1999. 7. 2)

(73) 特許権者 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区大手町一丁目6番1号

(72) 発明者 荒井 英明

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立電

線株式会社オプトロシステム研究所内

(72) 発明者 上塚 尚登

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立電

線株式会社オプトロシステム研究所内

審査官 岡田 吉美

(56) 参考文献 特開 平5-181172 (J P, A)

(58) 調査した分野 (Int. Cl. 7, D B 名)

G02B 6/12 - 6/14

(54) 【発明の名称】 導波路型光合分波器

1

2

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力ポートであるポート 1、ポート 2、出力ポートであるポート 3、ポート 4 を有し、ポート 1 とポート 3 を結ぶ導波路とポート 2 とポート 4 を結ぶ導波路の合計 2 本の導波路が、波長  $\lambda$  での光の強度の結合率が  $\kappa(\lambda)$  である 2 つの方向性結合器とその 2 つの方向性結合器を結ぶ位相差付与部を形成し、その位相差付与部ではポート 1 とポート 3 を結ぶ導波路の方がポート 2 とポート 4 を結ぶ導波路よりも長さが  $\Delta L_1$  だけ長い構造をした 2 つのマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分 10 波器を有し、片方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光\*

\* 合分波器のポート 4 ともう一方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート 1 を 1 本の導波路で結び、この導波路よりも  $\Delta L_2$  だけ長い導波路で片方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート 3 ともう一方のポート 2 を結んだ構成で、波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$  を含む帯域の光を透過し、波長  $\lambda_2$  を含む帯域の光を結合する導波路型光合分波器において、 $N_1$ 、 $N_2$  を整数、 $n_{\text{eff}}(\lambda)$  を導波路の波長  $\lambda$  の光に対する等価屈折率としたとき、位相差付与部の導波路長差  $\Delta L_1$ 、 $\Delta L_2$ 、方向性結合器の波長  $\lambda_2$  の結合率  $\kappa(\lambda_2)$  が、次に示す条件式、

$$\Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_3 / n_{\text{eff}}(\lambda_3) \quad (1)$$

$$P_c(\lambda_2) = 4 \cdot \kappa(\lambda_2) \cdot \{1 - \kappa(\lambda_2)\} \cdot \cos^2 \{n_{\text{eff}}(\lambda_2) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda_2\} = 0.5 \quad (2)$$

$$2 \cdot N_2 =$$

3

4

$$\lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) / | \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) - \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) | \quad (3)$$

$$\Delta L_2 = (N \pm 0.5) \cdot \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) = N \cdot \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) \quad (4)$$

を満たすことを特徴とした導波路型光合分波器。

\* の関数、

【請求項 2】請求項 1 に記載の条件式 (2) で示した波長\*

$$P_c(\lambda) =$$

$$4 \cdot \kappa(\lambda) \cdot \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \cos^2 \{ \text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda \}$$

の微分  $dP_c(\lambda) / d\lambda$  が波長  $\lambda_2$ 、あるいは  $\lambda_2$  近傍の波長で 0 となるように、方向性結合器の結合率  $\kappa$

( $\lambda$ )、導波路の等価屈折率  $\text{neff}(\lambda)$  及び位相差付与部の導波路長差  $\Delta L_1$  を選定してなることを特徴とした導波路型光合分波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、2つの帯域の光を合分波するマッハツエンダ型の導波路型光合分波器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

(従来例 1) マッハツエンダ干渉計の原理を応用した導波路型マッハツエンダ干渉計型光合分波器 (以下、光合※20

$$\text{neff}(\lambda) \cdot \Delta L_2 = (N_2 \pm 0.5) \cdot \lambda_1 = N_2 \cdot \lambda_2 \quad (5)$$

の関係で与えられることである。式 (5) から判るよう ★ ★に、波長  $\lambda_1$ 、波長  $\lambda_2$  は任意に得られるのではなく、

$$\{ \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) \} / | \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) - \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) | = 2 \cdot N_2 \quad (6)$$

を満たす波長の組み合わせのみに制約される。なお、式 ☆考慮した。

(6) では導波路の等価屈折率  $\text{neff}(\lambda)$  の波長依存性を☆

【0004】式 (5) は、

$$\Delta L_2 = (N_2 \pm 0.5) \cdot \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) = N_2 \cdot \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) \quad (7)$$

と書き換えられ、各ポートでの通過波長と阻止波長は、式 (7) の  $\Delta L_2$  を定めることにより高精度に設定でき

◆から結合ポート 26 への光の結合率を  $P_{2-3}$ 、入力ポート 25 から透過ポート 27 への光の透過率を  $P_{2-4}$  とすると、

【0005】この光合分波器において、入力ポート 25 ◆

$$P_{2-3} = 4 \cdot \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2 \{ \text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda \} \quad (8)$$

$$P_{2-4} = \{1 - 2 \cdot \kappa(\lambda)\}^2 + 4 \cdot \kappa(\lambda) \cdot \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \sin^2 \{ \text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda \} \quad (9)$$

で与えられる。なお、ここでは導波路の伝搬損失、散乱損失は無視している。式 (5) から式 (9) の  $\kappa(\lambda)$  に注目すると、ポート 26 から取り出される光である波長  $\lambda_2$  の光の強度の結合率  $\kappa(\lambda_2)$  を 0.5 に設定することにより、低損失でクロストークが 0 の光合分波器を構成できることがわかる。

【0006】この設計方法により波長  $\lambda_1 = 1.31 \mu\text{m}$ 、波長  $\lambda_2 = 1.53 \mu\text{m}$  として設計した光合分波器の特性を図 3 (b) に示す。

【0007】(参照文献 1: 電子情報通信学会論文誌 C-I Vol. J73-C-I No. 5 pp. 354-359 1990 年 5 月)

(従来例 2)

(従来例 1) で説明した光合分波器の通過波長帯域及び阻止波長帯域は狭く、実用化するためには帯域の拡大が

※分波器というは、従来、図 4 (a) のように構成されている。即ち、この光合分波器は、光の強度の結合率が  $\kappa(\lambda)$  である 2つの方向性結合器 28、29 と長さが  $\Delta L_2$  だけ異なる導波路 30 と導波路 31 からなる位相差付与部 32 とで構成されている。導波路の一端である入力ポート 25 から波長  $\lambda_1$  の光及び波長  $\lambda_2$  の光を入射させると、導波路の他端である透過ポート 27 から波長  $\lambda_1$  の光が取り出され、導波路の他端である結合ポート 26 から波長  $\lambda_2$  の光が取り出されるようになっている。

【0003】波長  $\lambda_1$  の光及び波長  $\lambda_2$  の光の合分波に必要な位相差付与部の条件は、導波路の等価屈折率  $\text{neff}(\lambda)$  を考慮した光路長差  $\text{neff}(\lambda) \cdot \Delta L_2$  が、任意

必要であった。そこで図 5 に示すような光合分波器が開発された。(参照文献 2: T. Kominato et al; Optical multi/demultiplexer with a modified Mach-Zender interferometer configuration; OEC' 94, Technical digest pp. 174-175, July 12-15, 1994)

この(従来例 2)の光合分波器の要点は(従来例 1)の方向性結合器をマッハツエンダ干渉計型光合分波器で置き換え、さらに置き換えたマッハツエンダ干渉計型光合分波器(以下、ドーター MZ 合分波器と略する)の合分波特性により(従来例 1)の波長  $\lambda_1$  に加えて波長  $\lambda_3$  を透過するようにしたことにある。構造は図 5 (a) に示す様に、長さが  $\Delta L_1$  だけ異なる導波路 42 と導波路 43 からなる位相差付与部 44 と結合率が  $\kappa(\lambda)$  である方向性結合器 38、39 で構成されるドーター MZ 合分

波器と、長さが $\Delta L_1$ だけ異なる導波路48と導波路49からなる位相差付与部50と結合率が $\kappa(\lambda)$ である方向性結合器40、41で構成されるドーターMZ合分波器が、上下反対に配置され、その2つのドーターMZ合分波器を長さが $\Delta L_2$ だけ異なる導波路45と46で\*

\* 結ぶ構造である。

【0008】この光合分波器において、入力ポート35から透過ポート37への光の透過率を $P_{2-3}$ 、入力ポート35から結合ポート36への光の結合率を $P_{2-4}$ とすると、

$$P_{2-4} = \{1 - 2 \cdot Pc(\lambda)\}^2 + 4 \cdot Pc(\lambda) \cdot \{1 - Pc(\lambda)\} \cdot \sin^2 \{neff(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda\} \quad (10)$$

$$P_{2-3} = 4 \cdot \{1 - Pc(\lambda)\} \cdot Pc(\lambda) \cdot \cos^2 \{neff(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda\} \quad (11)$$

$$Pc(\lambda) = 4 \cdot \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2 \{neff(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda\} \quad (13)$$

ここで、 $\Delta L_2$ は(従来例1)と同様に式(5)、(6)、(7)から定められる。

※ドーターMZ合分波器の位相差付与部の導波路長差 $\Delta L_1$ は、

【0009】ここで、方向性結合器の結合率 $\kappa(\lambda)$ と※

$$neff(\lambda) \cdot \Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_2 / 2 = N_1 \cdot \lambda_3 / 2 \quad (14)$$

$$\kappa(\lambda_2) = 0.5 \quad (15)$$

により与えられる。ここで $N_1$ は整数であり、 $\lambda_3$ は波長 $\lambda_1$ に近い波長である。

【0010】以上の様な設計方法により波長 $\lambda_1 = 1.31 \mu m$ 、波長 $\lambda_2 = 1.53 \mu m$ 、波長 $\lambda_3 = 1.276 \mu m$ として設計した光合分波器の合分波特性を図5(b)に実線で示す。比較のため図5(b)中に点線で(従来例1)の合分波特性も示した。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】(従来例2)では(従来例1)よりも片方の帯域を拡大することに成功している。しかし、導波路の幅あるいは屈折率を変えない限り、条件式(7)で整数 $N_2$ に対応して $(\lambda_1, \lambda_2)$ の組み合わせが決まってしまう。また条件式(14)から整数 $N_1$ に対応して $(\lambda_2, \lambda_3)$ の組み合わせが決まってしまう。さらに帯域を拡大するには $\lambda_3$ は $\lambda_1$ に近い波長という限定がある。よって、整数 $N_2$ と $\lambda_2$ を決めれば、他のすべての設計パラメータは選択の余地なく決まってしまう、設計の自由度が少ないという問題があった。

【0012】また、図5(b)からわかる様に(従来例2)は $1.3 \mu m$ 帯域においては(従来例1)よりも通過及び阻止波長帯域が広いが、 $1.5 \mu m$ 帯域においては逆に(従来例1)よりも通過及び阻止波長帯域が狭くなっている。この様に片方の帯域を狭めることなしに、もう一方の帯域を広げることができないという問題があった。

★

$$\Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_3 / neff(\lambda_3) \quad (1)$$

$$Pc(\lambda_2) = 4 \cdot \kappa(\lambda_2) \cdot \{1 - \kappa(\lambda_2)\} \cdot \cos^2 \{neff(\lambda_2) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda_2\} = 0.5 \quad (2)$$

$$2 \cdot N_2 =$$

$$\lambda_1 / neff(\lambda_1) / |\lambda_1 / neff(\lambda_1) - \lambda_2 / neff(\lambda_2)| \quad (3)$$

$$\Delta L_2 = (N \pm 0.5) \cdot \lambda_1 / neff(\lambda_1) = N \cdot \lambda_2 / neff(\lambda_2) \quad (4)$$

を満たすことにある。

件式(2)で示した波長の関数、

【0015】また、請求項2記載の本発明の要旨は、条 50

★【0013】本発明の目的は、上記課題を解決し、片方の帯域を狭めることなしにもう一方の帯域を拡大することにある。

20 【0014】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の本発明の要旨は、入力ポートであるポート1、ポート2、出力ポートであるポート3、ポート4を有し、ポート1とポート3を結ぶ導波路とポート2とポート4を結ぶ導波路の合計2本の導波路が、波長 $\lambda$ での光の強度の結合率が $\kappa(\lambda)$ である2つの方向性結合器とその2つの方向性結合器を結ぶ位相差付与部を形成し、その位相差付与部ではポート1とポート3を結ぶ導波路の方がポート2とポート4を結ぶ導波路よりも長さが $\Delta L_1$ だけ長い構造をした2つのマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器を有し、片方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート4ともう一方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート1を1本の導波路で結び、この導波路よりも $\Delta L_2$ だけ長い導波路で片方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート3ともう一方のポート2を結んだ構成で、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ を含む帯域の光を透過し、波長 $\lambda_2$ を含む帯域の光を結合する導波路型光合分波器において、 $N_1$ 、 $N_2$ を整数、 $neff(\lambda)$ を導波路の波長 $\lambda$ の光に対する等価屈折率としたとき、位相差付与部の導波路長差 $\Delta L_1$ 、 $\Delta L_2$ 、方向性結合器の波長 $\lambda_2$ の結合率 $\kappa(\lambda_2)$ が、次に示す条件式、

$$P_c(\lambda) =$$

$$4 \cdot \kappa(\lambda) \cdot \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \cos^2 \{n_{\text{eff}}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda\}$$

の微分  $dP_c(\lambda) / d\lambda$  が波長  $\lambda_2$ 、あるいは  $\lambda_2$  近傍の波長で 0 となるように、方向性結合器の結合率  $\kappa$

( $\lambda$ )、導波路の等価屈折率  $n_{\text{eff}}(\lambda)$  及び位相差付与部の導波路長差  $\Delta L_1$  を選定してなることにある。

【0016】

【作用】本発明は、(従来例 2) における条件式 (14)、(15) の代わりに、上記条件式 (1)、(2) を用いることで設計の自由度をましたことにある。

【0017】(従来例 2) では、 $\lambda_2$  を決めれば、式 (14) より  $\lambda_3$  は 1 対 1 対応 (正確に言えば、± の符号があるので 1 対 2 対応) で決まってしまう。

【0018】それに対して本発明では、条件式 (1)、

$$P_c(\lambda) = 4 \cdot \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2 \{n_{\text{eff}}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda\}$$

波長  $\lambda$  の光が結合ポートに分波されるためには、

$$n_{\text{eff}}(\lambda) \cdot \Delta L_1 = N_1 \cdot \lambda \quad (19)$$

$$P_c(\lambda) = \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot 4 \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2 \{n_{\text{eff}}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda\} = 0.5 \quad (20)$$

という条件を満たす必要がある。波長  $\lambda_2$  は条件式 (5) 及び (2) により式 (19)、(20) を満たすので分波される。帯域を広げるには、 $\lambda_2$  の付近の波長でも式 (19)、(20) を満たした状態に近づけることが必要である。そこで、本発明は、波長の関数  $P_c(\lambda)$  の変化率 ( $dP_c(\lambda) / d\lambda$ ) を  $\lambda_2$  の付近で最も小さくなるように設計したものである。

【0022】図 6 乃至図 15 に本発明の作用を説明するための図を示す。なお、以後の説明では、光合分波器の位相差付与部では、導波路長差だけ考慮にしていることにする (即ち、位相差付与部 60 において導波路 58 の長さを  $\Delta L_1$ 、導波路 59 の長さを 0 とみなす。この様にしても理論上問題はない)。

※

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{1 + \cos\{\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1\}}{\sin\{\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1\}} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{\kappa(\lambda) \cdot \sin\{\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1\}}{\{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos\{\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1\}} \right)$$

$$\beta(\lambda) = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{eff}}(\lambda)}{\lambda}$$

【0025】図 6 で出力された光と共役な関係の光を逆方向に入射した場合の様子を図 7 に示す。これは、即ち電界振幅が  $E_1$ 、位相が  $-\theta_1$  である光を結合ポート 55 から、電界振幅が  $E_2$ 、位相が  $-\theta_2$  である光を透過ポート 54 から同時に入射した場合、入力ポート 53 a

\* (2) を用いれば、 $\lambda_2$  とは無関係に  $\lambda_3$  を決めることができる。

【0019】(従来例 2) は、条件式 (15) で  $\kappa(\lambda_2)$  を 0.5 に限定しているが、本発明はその限定をなくして、その代わりに、条件式 (2) を導入することにより、 $\lambda_3$  を  $\lambda_2$  との 1 対 1 対応から解放したものである。

【0020】請求項 2 記載の本発明は、次に示す条件式 (18) を用いて設計することにより、片方の帯域を狭めることなしに逆に少し広げて、もう一方の帯域を拡大したことにある。

【0021】

※【0023】図 6 は光合分波器の入力ポート 53 a から電界振幅が  $E_0$ 、位相が 0 の光を入射した場合の、出力光の電界振幅と位相について説明する図である。ここで、結合ポート 55 から出力される光の電界振幅を  $E_1$ 、位相を  $\theta_1$ 、透過ポート 54 から出力される光の電界振幅を  $E_2$ 、位相を  $\theta_2$  と書くことにする。そのとき  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  は、方向性結合器 56、57 の結合率  $\kappa(\lambda)$ 、位相差付与部 60 の導波路長差  $\Delta L_1$ 、導波路の伝搬定数  $\beta(\lambda)$  を用いて、次の式で表すことができる。

【0024】

【数 1】

から電界振幅が  $E_0$  の光が射出されることを意味している。つまり、入力ポート 53 a から光を入れた場合に結合ポート 55、透過ポート 54 から射出される光と共役な関係の光を結合ポート 55、透過ポート 54 から入射すれば、入力ポート 53 a に光は戻ることである。

る。なお、ここで位相は相対的な関係だけ考えればよいことを図 9 の説明のところで述べる。

【0026】図 8 は図 6 と同じ光合分波器の入力ポート 5 3 b から電界振幅が  $E_0$ 、位相が 0 の光を入射した場合、出力光の電界振幅と位相について説明する図である。ここで、ポート 5 4 から出力される光の電界振幅を  $E_1$ 、位相を  $\phi_1$ 、ポート 5 5 から出力される光の電界\*

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left( \frac{1 + \cos\{\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1\}}{\sin\{\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1\}} \right)$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \left( \frac{-\{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \sin\{\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1\}}{\{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \cos\{\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1\} - \kappa(\lambda)} \right)$$

$$\beta(\lambda) = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{eff}}(\lambda)}{\lambda}$$

【0028】図 8 で出力された光と共役な関係の光と、ポート 5 5 とポート 5 4 間での位相差と電界振幅が同じである光を逆方向に入射した場合の様子を図 9 に示す。これは、即ち図 9 で電界振幅が  $E_1$ 、位相がポート 5 4 よりも  $\phi_1 - \phi_2$  だけ進んだ光をポート 5 5 から、電界振幅が  $E_2$ 、位相がポート 5 5 よりも  $\phi_1 - \phi_2$  だけ遅れた光をポート 5 4 から同時に入射した場合、入力ポート 5 3 b から光が出射されることを意味している。つまり、入力ポート 5 3 b から光を入れた場合、出射された光とポート 5 5 とポート 5 4 での位相差が逆で、電界振幅が同じ光を逆に入射すれば、入力ポート 5 3 b に光が戻るということである。

【0029】次に、図 6 乃至図 9 で説明した考え方をを用いて、本発明の動作を説明する。

【0030】図 10 に示す様に、説明のために本発明である光合分波器を 3 つの領域に分け、入射ポートから光を入射した場合の各領域での光の動きについて、図 11 乃至図 15 で説明する。

【0031】図 11 は領域 1 での光の電界振幅と位相を説明するための図である。電界振幅  $E_0$  の光を入力ポート 6 1 から入射したときの、結合した光の電界振幅を  $E_1$ 、位相を  $\theta_1$ 、透過した光の電界振幅を  $E_2$ 、位相を  $\theta_2$  とすれば、請求項に示した条件式 (2) から、波長  $\lambda$  ※

\* 振幅を  $E_2$ 、位相を  $\phi_2$  とする。そのとき  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  は、方向性結合器の結合率  $\kappa(\lambda)$ 、位相差付与部の導波路長差  $\Delta L$ 、導波路の伝搬定数  $\beta(\lambda)$  を用いて、次の式で表すことができる。

【0027】

【数 2】

※<sub>2</sub> の光の場合は、 $E_1 = E_2$  であり、条件式 (1) から、波長  $\lambda_3$  の光の場合は、 $E_1 = 0$ 、 $E_2 = E_0$  であることが分かる。

【0032】図 12 は領域 1 で出射された光が、領域 2 に入射して、どのような位相変化をするか示したものである。ここでは、位相に関しては、同時に入射される光に対して、導波路 7 1 と導波路 7 2 間の差だけ考えればよい。よって、導波路 7 1 には電界振幅が  $E_1$  で、位相が  $\theta_1 - \theta_2$  の光が、導波路 7 2 には電界振幅が  $E_2$ 、位相が 0 の光が入射されるものとする。入射された光は領域 2 で電界振幅は変化せず、位相のみ変化する。導波路 7 1 から出射される光の位相は、 $\theta_1 - \theta_2 + \beta$

( $\lambda$ )  $\cdot \Delta L_2$ 、導波路 7 2 から出射される光の位相は 0 である。ここで、条件式 (3)、(4) から、波長  $\lambda_1$  では、 $\beta(\lambda_1) \cdot \Delta L_2 = (2 \cdot N_2 \pm 1) \cdot \pi$ 、波長  $\lambda_2$  では、 $\beta(\lambda_2) \cdot \Delta L_2 = 2 \cdot N_2 \cdot \pi$  であることが分かる。図 13 は領域 2 で出射された波長  $\lambda_1$  の光が、領域 3 に入射して、どのように透過ポートに出射されるかを説明する図である。ここで、詳しい説明を省くが、波長  $\lambda_1$  に対しては  $(\phi_2 - \phi_1) - (\theta_1 - \theta_2) = -\pi$  が成り立つ。よって、

【0033】

【数 3】

$$\begin{aligned} E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + \beta(\lambda_1) \cdot \Delta L\}] &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + (2 \cdot N_2 \pm 1) \cdot \pi\}] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 \pm \pi\}] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot (\phi_2 - \phi_1)] \\ &= E_1 \cdot \exp[j \cdot (\phi_1 - \phi_2)] \end{aligned}$$

【0034】となる。

【0035】このように、波長  $\lambda_1$  に関しては、“導波路 7 4 に入射される光よりも導波路 7 5 に入射される光の方が、位相が  $\theta_1 - \theta_2 + (2 \cdot N_2 \pm 1) \cdot \pi$  だけ進んでいる”ということは、“導波路 7 4 に入射される

光よりも導波路 7 5 に入射される光の方が、位相が  $\phi_1 - \phi_2$  だけ遅れている” ( $2 \cdot \pi$  の整数倍の位相は 0 と同じである) のと同じであることが分かる。よって、この場合は導波路 7 4 に電界振幅が  $E_1$ 、位相が  $-(\phi_1 - \phi_2)$  の光が、導波路 7 5 に電界振幅が  $E_2$ 、位相が

11

0 の光が入射されたことになるが、これは図 9 の場合と同じである（図 9 を上下逆にしてみればよく分かる）。従って、波長  $\lambda_1$  の光は透過ポートに出力されることが分かる。

【0036】図 14 は領域 2 で出射された波長  $\lambda_2$  の光\*

$$E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + \beta(\lambda_2) \cdot \Delta L\}] = E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + 2 \cdot N_2 \cdot \pi\}] \\ = E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2\}]$$

【0038】となり、ここで波長  $\lambda_2$  では、 $E_1 = E_2$  であるから、図に示すように、“導波路 74 に電界振幅が  $E_1$ 、位相が  $\theta_1 - \theta_2$  の光が、導波路 75 に電界振幅が  $E_2$ 、位相が 0 の光が入射される”ことは、“導波路 74 に電界振幅  $E_2$ 、位相が 0 の光が、導波路 75 に電界振幅が  $E_1$ 、位相が  $-(\theta_1 - \theta_2)$  の光が入射される”のと同じとみなすことができ、図 14 に示すように変換可能である。これは、図 7 の場合と同じである。従って、波長  $\lambda_2$  の光は結合ポートに出力されることが分かる。請求項 2 記載の本発明では、 $E_1$ 、 $E_2$  の波長に対する変化率を波長  $\lambda_2$  で最小となるようにして、 $\lambda_2$  に近い波長では  $E_1 = E_2$  とすることで帯域の狭まりを防いでいる。図 15 は領域 2 で出射された波長  $\lambda_3$  の光が、領域 3 に入射して、どのように透過ポートに出射されるかを説明する図である。波長  $\lambda_3$  の光の場合は、 $E_1 = 0$ 、 $E_2 = E_0$  であるから、導波路 75 にのみ光が入射されたのと同じである。領域 3 を経て導波路 74 から出射される光の電界振幅を  $E_1$ 、導波路 75 から出射される光の電界振幅を  $E_2$  とすると、ここでも、条件式 (1) から、 $E_1 = 0$ 、 $E_2 = E_0$  であることが分かる。従って、波長  $\lambda_3$  の光は透過ポートに出力されることになる。

【0039】

【実施例】以下に、本発明の実施例を図 1 乃至図 3 を参照しながら説明する。図 1 は本実施例に係わる導波路型光合分波器を示す図であり、同図 (a) は平面図、同図 (b) は a-a' 線断面図である。図 2 は、本発明（請求項 1）の実施例の導波路型光合分波器の損失波長特性を示す図であり、同図 (a) は入力ポート 18 から光を入力した場合の結合ポート 20 での損失波長特性を、同図 (b) は入力ポート 18 から光を入力した場合の透過ポート 19 での損失波長特性を示している。図 3 は、本発明（請求項 2）の実施例の導波路型光合分波器の損失波長特性を示す図であり、同図 (a) は入力ポート 18 から光を入力した場合の結合ポート 20 での損失波長特性を、同図 (b) は入力ポート 18 から光を入力した場合の透過ポート 19 での損失波長特性を示している。

【0040】本実施例の導波路型光合分波器は図 1 に示すように、導波路 2、3 が直線状に伸びたり、曲げ半径 30mm で曲がったりすることにより形成されており、4 つの方向性結合器 5、6、7、8 とそれらを結ぶ位相差付与部 11、14、17 により構成されている。同図 (b) に示すように、導波路 2、3 は、基板 1 上に形成さ

12

\* が、領域 3 に入射して、どのように結合ポートに出射されるかを説明する図である。

【0037】

【数 4】

れたコア 2a、3a をクラッド 4 で覆ったものである。同図 (b) に示すように方向性結合器 5、6、7、8 は、導波路 2、3 が平行に間隔 Gap で配置されたものであり、その平行部分の長さを LC で表すことにする。位相差付与部 11 は導波路 9 を導波路 10 よりも  $\Delta L_1$  だけ長くすることにより、位相差付与部 14 は導波路 12 を導波路 13 よりも  $\Delta L_2$  だけ長くすることにより、位相差付与部 17 は導波路 16 を導波路 15 よりも  $\Delta L_1$  だけ長くすることにより、位相差を与えている。

【0041】基板 1 とクラッド 4 の屈折率は 1.458、コアの屈折率は 1.4624、コアの高さ、幅とも 8  $\mu\text{m}$  である。材質は、基板 1 が  $\text{SiO}_2$ 、クラッド 4 が  $\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$ 、コアが  $\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$  である。

【0042】図 1 において、方向性結合器の Gap を 3.5  $\mu\text{m}$ 、平行部の長さ LC を 213  $\mu\text{m}$ 、位相差付与部 11 と 17 の導波路長差  $\Delta L_1$  を 1.293  $\mu\text{m}$ 、位相差付与部 14 の導波路長差  $\Delta L_2$  を 3.171  $\mu\text{m}$  とした実施例の導波路型光合分波器の損失波長特性を図 2 中に実線により示す。ここで前記した波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  は、 $\lambda_1 = 1.31 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_2 = 1.53 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_3 = 1.25 \mu\text{m}$  である。なお、図 2 中に比較のため破線により、（従来例 2）の導波路型光合分波器の損失波長特性を示している。従来の設計方法では実線のような特性は実現できない。例えば、ここで仮に目標を、結合ポートでは波長  $\lambda = 1.24 \sim 1.32 \mu\text{m}$  で 25dB 以上（枠 21 の外側を分光曲線が通ればよい）、波長  $\lambda = 1.525 \sim 1.535 \mu\text{m}$  で 0.05dB 以下（枠 22 の外側を分光曲線が通ればよい）、透過ポートでは波長  $\lambda = 1.24 \sim 1.32 \mu\text{m}$  で 0.1dB 以下（枠 23 の外側を分光曲線が通ればよい）、波長  $\lambda = 1.525 \mu\text{m} \sim 1.535 \mu\text{m}$  で 20dB 以上（枠 24 の外側を分光曲線が通ればよい）と定めると、本発明では、実線の特性を実現できるので目標を達成できるが、従来では達成できない。このように、本発明の導波路型光合分波器は目標に応じた設計の自由度の点で優れている。

【0043】図 1 において、方向性結合器の Gap を 3.84  $\mu\text{m}$ 、平行部の長さ LC を 27  $\mu\text{m}$ 、位相差付与部 11 と 17 の導波路長差  $\Delta L_1$  を 3.156  $\mu\text{m}$ 、位相差付与部 14 の導波路長差  $\Delta L_2$  を 2.115  $\mu\text{m}$  とした実施例の導波路型光合分波器の損失波長特性を図 3 中に実線により示す。また比較のために図 3 中に破線

で（従来例 1）の導波路型光合分波器の損失波長特性を示してある。従来では、図 5 (b) に示すように、また前で述べたように、片方の帯域を広げるともう一方の帯域は狭くなってしまうという問題があったが、本発明の導波路型光合分波器は、図 3 に示すように、1. 3  $\mu\text{m}$  帯で帯域が広がっているにもかかわらず、1. 5 3  $\mu\text{m}$  帯で帯域は狭くなっていない。むしろ、1. 5 3  $\mu\text{m}$  帯でも帯域が広がっている。このように、分波する両方の帯域を広くできる点で本発明の導波路型光合分波器は優れている。

【0044】なお、実施例で用いた材料以外に、コアとしては  $\text{SiO}_2 - \text{GeO}_2$  がよく用いられる。

【0045】基板、クラッド、コア材料としては以上に述べた以外にも、その他の誘電体材料、半導体材料、有機材料を用いることができる。

【0046】

【発明の効果】

(1) 請求項 1 記載の本発明によれば、片方の帯域を狭めることなしに、もう一方の帯域を広げた導波路型光合分波器を容易に実現することができる。

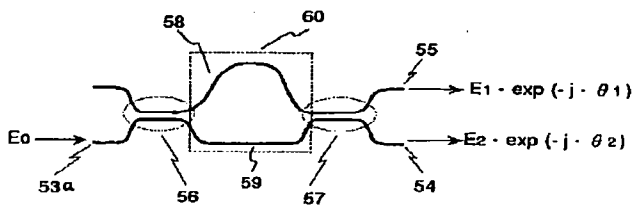
【0047】(2) 請求項 2 記載の本発明によれば、片方の帯域を狭めることなしに逆に少し広げて、もう一方の帯域を拡大できる。

【図面の簡単な説明】

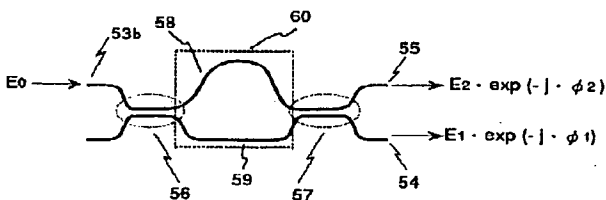
【図 1】本発明の実施例を示す図であり、同図 (a) は平面図、同図 (b) は a-a' 断面図である。

【図 2】本発明（請求項 1）の実施例の光合分波器の損失波長特性のグラフである。

【図 6】



【図 8】



【図 3】本発明（請求項 2）の実施例の光合分波器の損失波長特性のグラフである。

【図 4】従来例を示す図であり、同図 (a) は従来之光合分波器の平面図、同図 (b) は損失波長特性のグラフである。

【図 5】従来例を示す図であり、同図 (a) は従来之光合分波器の平面図、同図 (b) は損失波長特性のグラフである。

【図 6】本発明の作用を説明する図である。

10 【図 7】本発明の作用を説明する図である。

【図 8】本発明の作用を説明する図である。

【図 9】本発明の作用を説明する図である。

【図 10】本発明の作用を説明する図である。

【図 11】本発明の作用を説明する図である。

【図 12】本発明の作用を説明する図である。

【図 13】本発明の作用を説明する図である。

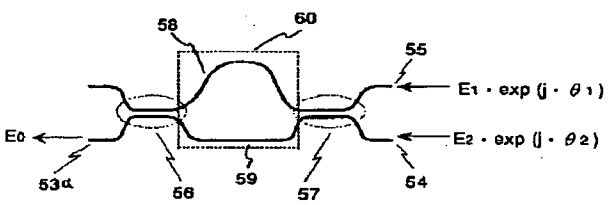
【図 14】本発明の作用を説明する図である。

【図 15】本発明の作用を説明する図である。

【符号の説明】

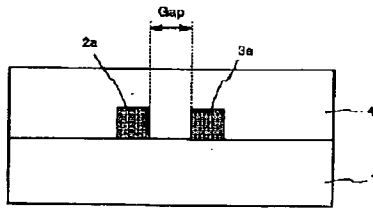
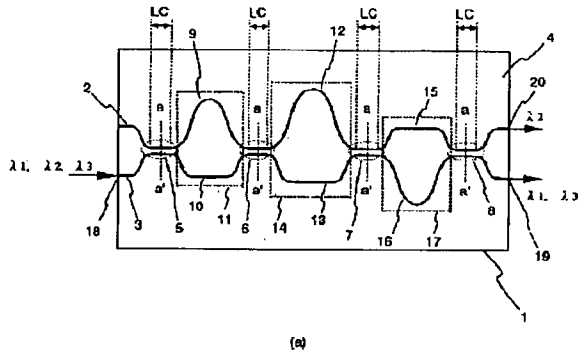
- 20 1 基板  
2、3 導波路  
4 クラッド  
5、6、7、8 方向性結合器  
9、10、12、13、15、16 導波路  
11、14、17 位相差付与部  
18 入力ポート  
19 透過ポート  
20 結合ポート

【図 7】

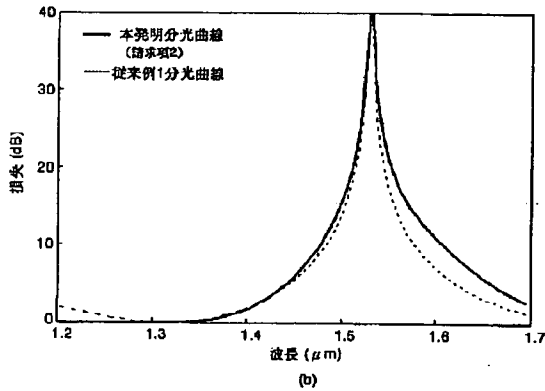
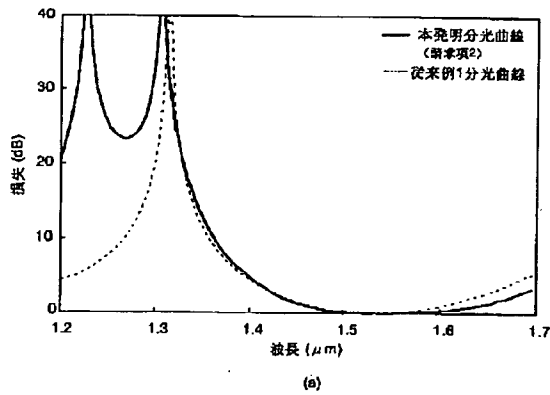




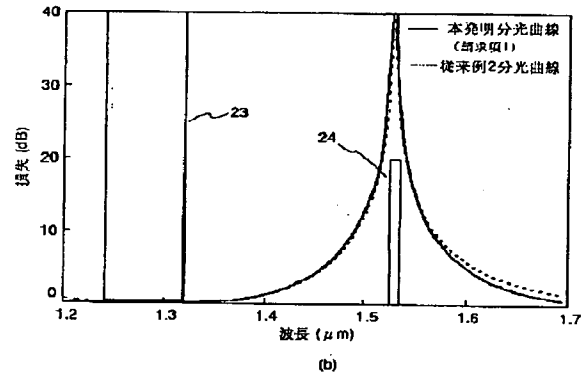
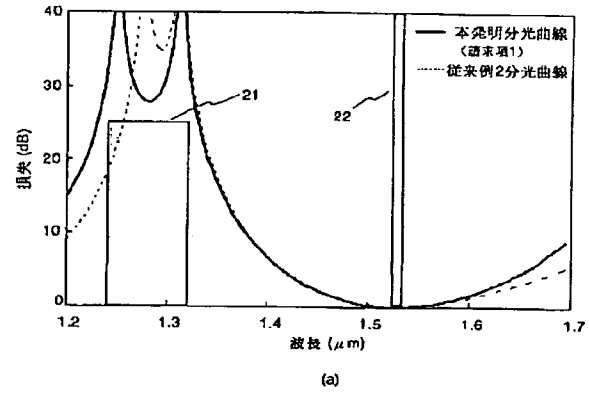
【図1】



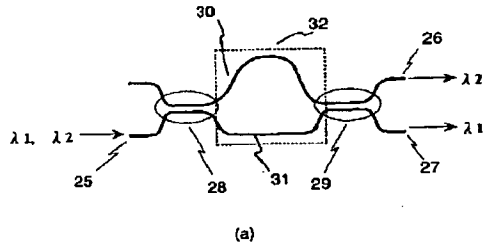
【図3】



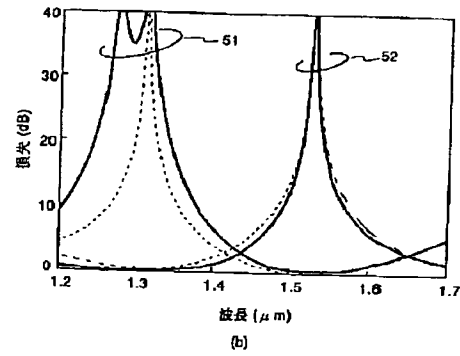
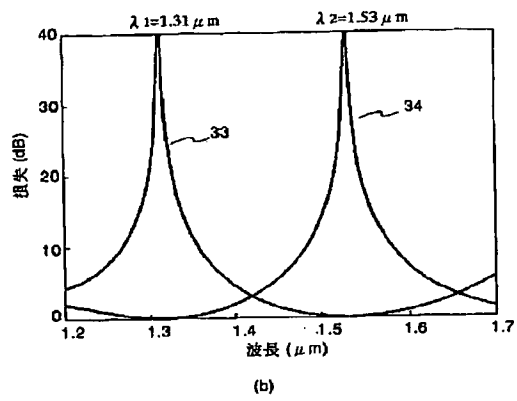
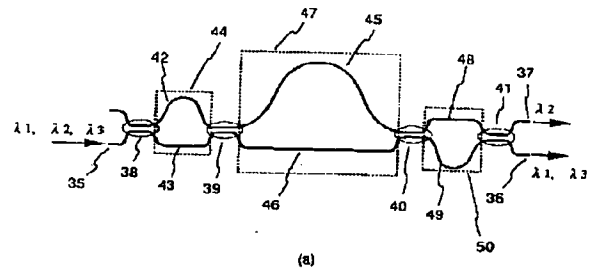
【図2】



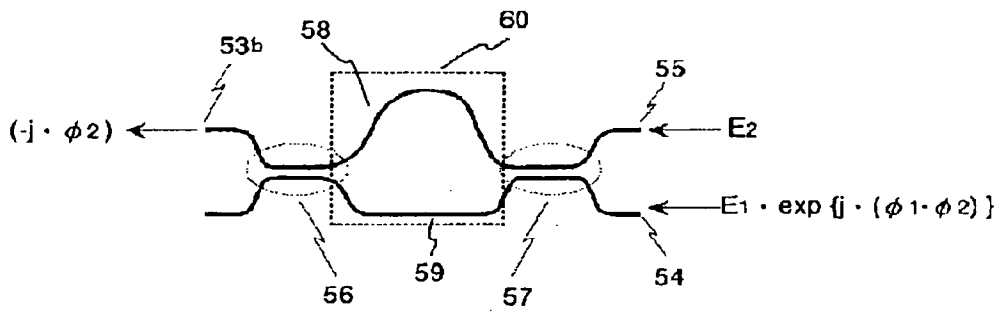
【図 4】



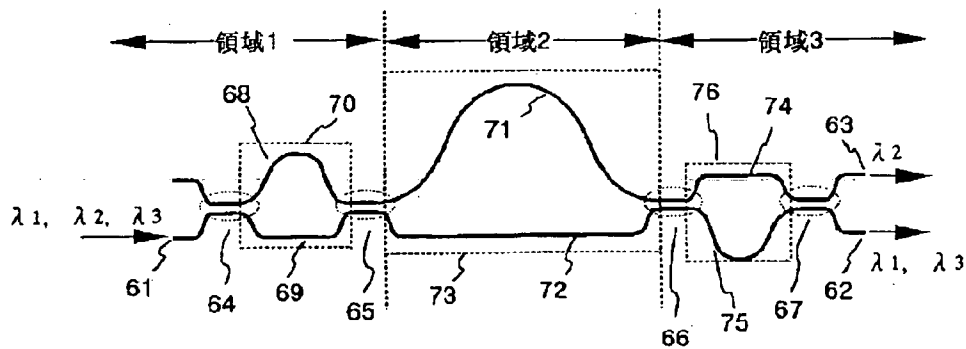
【図 5】



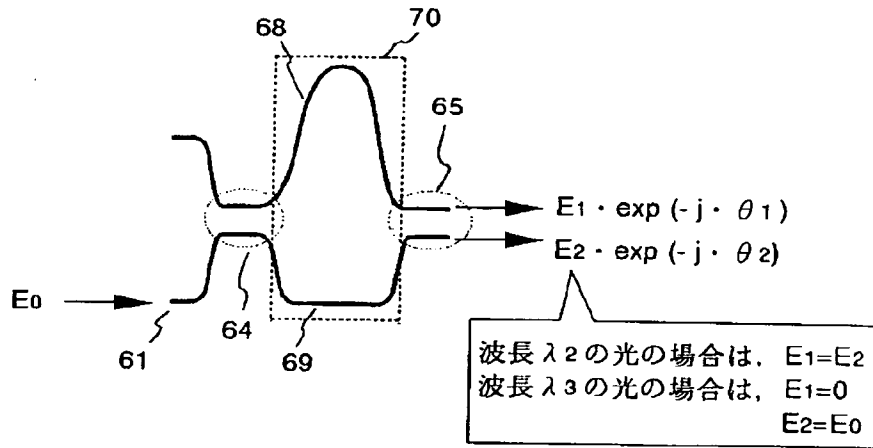
【図 9】



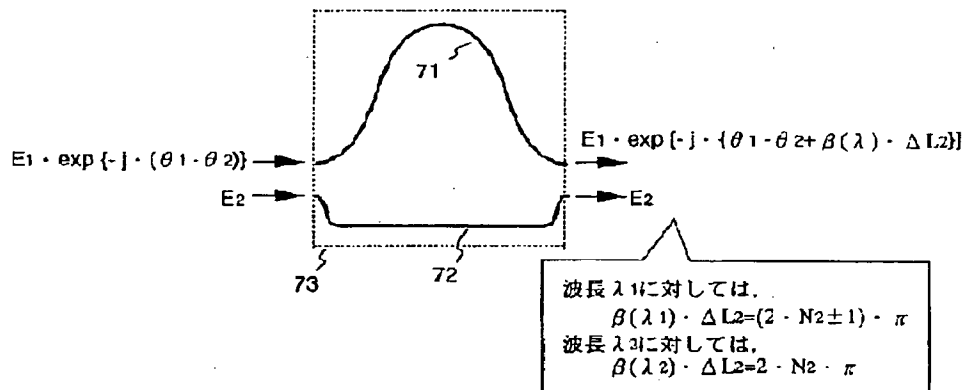
【図 10】



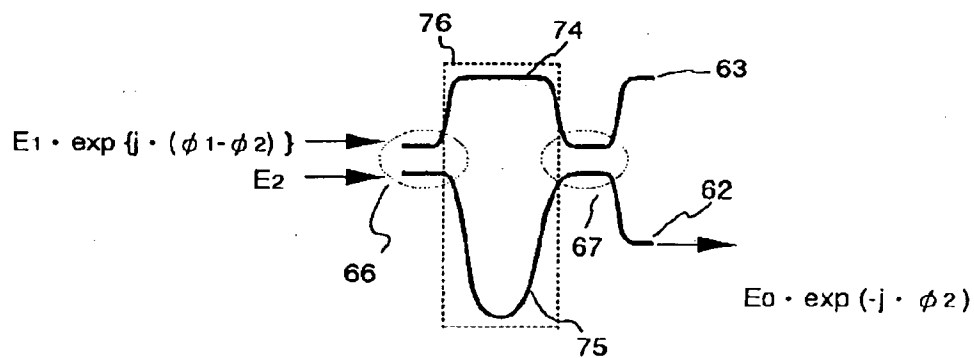
【図 1 1】



【図 1 2】

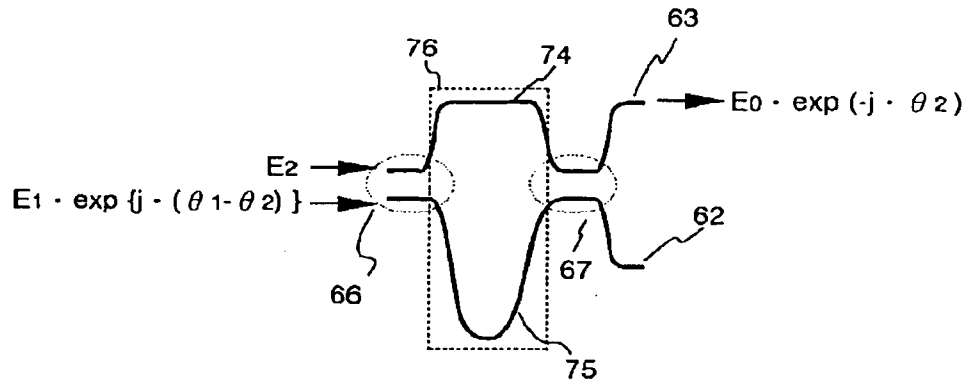


【図 1 3】

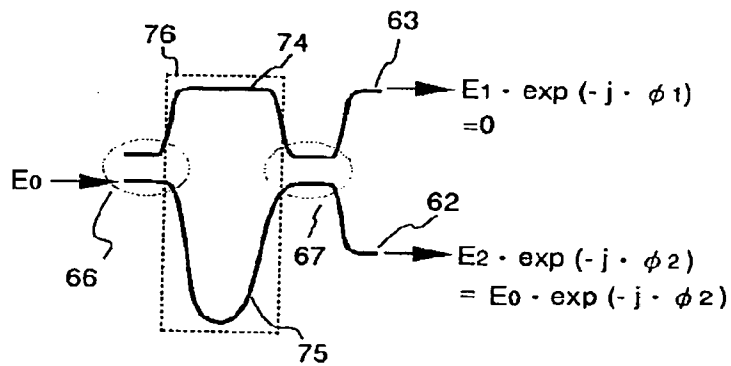


【図 1 4】

$$\begin{array}{ccc} E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2\}] & \xrightarrow{\text{変換可能}} & E_2 \\ E_2 & & E_1 \cdot \exp[j \cdot \{\theta_1 - \theta_2\}] \end{array}$$



【図 1 5】



Paragraph 0002:

[Conventional technology]

(Example 1 of the prior art)

A conventional Mach-Zender interferometer waveguide type optical multiplexer/demultiplexer applying the principle of Mach-Zender interferometer (hereinafter referred to as optical multiplexer/demultiplexer) is constituted as shown in Figure 4(a). More specifically, the optical multiplexer/demultiplexer comprises two directional couplers 28 and 29 whose coupling ratio of light intensity is  $\kappa$  ( $\lambda$ ) and a phase difference adding part 32 which includes waveguides 30 and 31 whose lengths differ only by  $\Delta L_2$ . The optical multiplexer/demultiplexer is adapted such that when light of wavelengths  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  are input into an input port 25 in one end of the waveguide, light of wavelength  $\lambda_1$  is obtained from a passing port 27 in the other end, and light of wavelength  $\lambda_2$  is obtained from coupling port 26 in the other end.

Paragraph 0007:

(Reference literature 1: Institute of Electronics, Information and Communication Engineers collected papers C-I Vol. J73-C-I No.5 pp.354-359 May 1990 )

(Example 2 of the prior art)

A passing wavelength range and a blocking wavelength range of the optical multiplexer/demultiplexer described in example 1 of the prior art is narrow, and enlarging the ranges was needed to make it practicable. Consequently, an optical multiplexer/demultiplexer shown in Figure 5 has been developed.

(Reference literature 2: T. Kominato et al ; Optical multi/demultiplexer with a modified Mach-Zender interferometer configuration ; OEC'94, Technical digest pp.174-175 , July 12-15, 1994)

The point of the optical multiplexer/demultiplexer of the example 2 of the prior art (shown in Figure 5) is that the directional coupler is replaced with a Mach-Zender interferometer type optical multiplexer/demultiplexer and that in addition to wavelength  $\lambda_1$  in conventional example 1, wavelength  $\lambda_3$  is transmitted by using the multiplexing/demultiplexing feature of the replaced Mach-Zender interferometer type optical multiplexer/demultiplexer (hereinafter abbreviated to as a daughter MZ multiplexer/demultiplexer). As shown in Figure 5 (a), the

construction of the conventional example 2 includes a daughter MZ multiplexer/demultiplexer which comprises a phase difference adding part 44 including waveguides 42 and 43 whose lengths differ by  $\Delta L_1$  and directional couplers 38 and 39 with a coupling ratio  $\kappa(\lambda)$ , and another daughter MZ multiplexer/demultiplexer which comprises a phase difference adding part 50 including waveguides 48 and 49 whose lengths differ by  $\Delta L_1$  and directional couplers 40 and 41 with a coupling ratio  $\kappa(\lambda)$ , and these daughter MZ multiplexers/demultiplexers are arranged upside down with each other and are connected by waveguides 45 and 46 whose lengths differ by  $\Delta L_2$ .

Paragraph 0008:

In this multiplexer/demultiplexer, assuming that  $P_{2-3}$  is the transmission ratio of the light passing from the input port 35 to the passing port 37, and  $P_{2-4}$  is the optical coupling ratio of the light passing from the input port 35 to the passing port 36, following equations are formed.

$$P_{2-4} = \{1 - 2 \cdot Pc(\lambda)\}^2 + 4 \cdot Pc(\lambda) \cdot \{1 - Pc(\lambda)\} \cdot \sin^2 \{neff(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda\} \quad (10)$$

$$P_{2-3} = 4 \cdot \{1 - Pc(\lambda)\} \cdot Pc(\lambda) \cdot \cos^2 \{neff(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda\} \quad (11)$$

$$Pc(\lambda) = 4 \cdot \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2 \{neff(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda\} \quad (13)$$

Here,  $\Delta L_2$  is determined from equations (5), (6) and (7) in the same way as the conventional example 1.

Paragraph 0009:

Here, the coupling ratio  $\kappa(\lambda)$  of the directional couplers and the waveguide optical length difference  $\Delta L_1$  of the phase difference adding part are obtained by the following equations (14) and (15).

$$neff(\lambda) \cdot \Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_2 / 2 = N_1 \cdot \lambda_3 / 2 \quad (14)$$

$$\kappa(\lambda_2) = 0.5 \quad (15)$$

Here,  $N_1$  is an integer, and  $\lambda_3$  is a wavelength close to wavelength  $\lambda_1$ .

Paragraph 0032:

Figure 12 shows how phase change of the light output from range 1 changes by launching into range 2. Here, regarding the phase, only the difference between waveguide 71 and 72 need

to be considered for lights incoming concurrently. Consequently, it is assumed that light with an electric-field amplitude  $E_1$  and an phase  $\theta_1 - \theta_2$  is input into waveguide 71, and light with an electric-field amplitude  $E_2$  and phase 0 is input into waveguide 72. In region, the electric-field amplitude of the input light does not change, and only the phase changes. An optical phase of the light output from waveguide 71 is  $\theta_1 - \theta_2 + \beta(\lambda) \cdot \Delta L_2$ , and an optical phase of the light outputted from waveguide 72 is zero. Here, from the conditional equations (3) and (4), it is understood that  $\beta(\lambda_1) \cdot \Delta L_2 = (2 \cdot N_2 \pm 1) \cdot \pi$  when the wavelength is  $\lambda_1$ , and  $\beta(\lambda_2) \cdot \Delta L_2 = 2 \cdot N_2 \cdot \pi$  when the wavelength is  $\lambda_2$ . Figure 13 is an explanation drawing in relation to how the wavelength  $\lambda_1$  output from region 2 launches into region 3 and is output the passing port. Here, detailed explanation is omitted, but  $(\varphi_2 - \varphi_1) - (\theta_1 - \theta_2) = -\pi$  at wavelength  $\lambda_1$ . Hence, the following equation is composed.

$$\begin{aligned} E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + \beta(\lambda_1) \cdot \Delta L\}] &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + (2 \cdot N_2 \pm 1) \cdot \pi\}] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 \pm \pi\}] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)] \\ &= E_1 \cdot \exp[j \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)] \end{aligned}$$

Paragraph 0046

.....

[Brief description of the drawings]

.....

Figure 4 illustrates an example of prior art, Figure 4(a) is a plain view of a conventional optical multiplexer/demultiplexer, and Figure 4(b) is a graph of a loss wavelength characteristic.

Figure 5 illustrates another example of prior art, Figure 5(a) is a plain view of another conventional optical multiplexer/demultiplexer, and Figure 5(b) is a graph of another loss wavelength characteristic.

.....

Figure 10 is an explanation drawing for the function of the present invention.

.....

Figure 12 is an explanation drawing for the function of the present invention.

Figure 13 is an explanation drawing for the function of the present invention.

.....

[Explanation of references]

1	substrate
2 and 3	waveguide
4	cladding
5, 6, 7 and 8	directional optical coupler
9, 10, 12, 13, 15 and 16	waveguide
11, 14 and 17	phase difference adding part
18	input port
19	passing port
20	coupling port



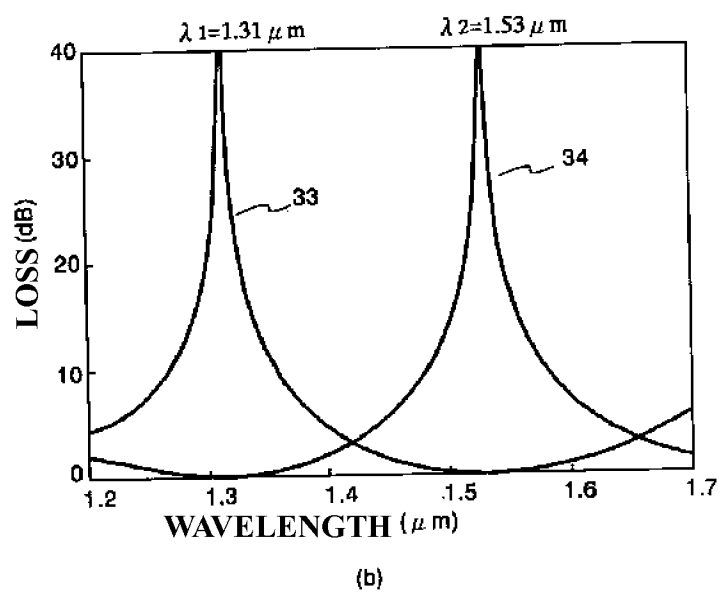
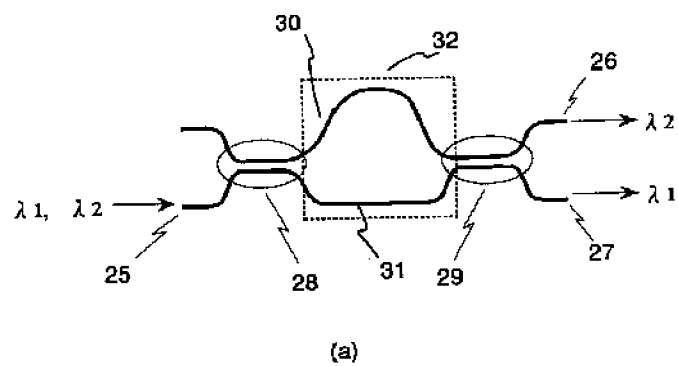


FIG.4

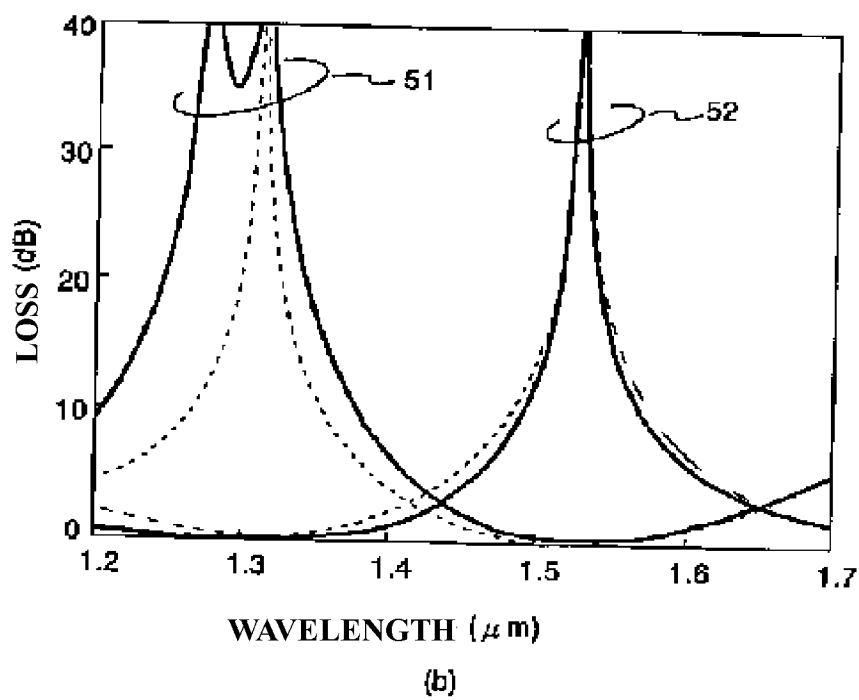
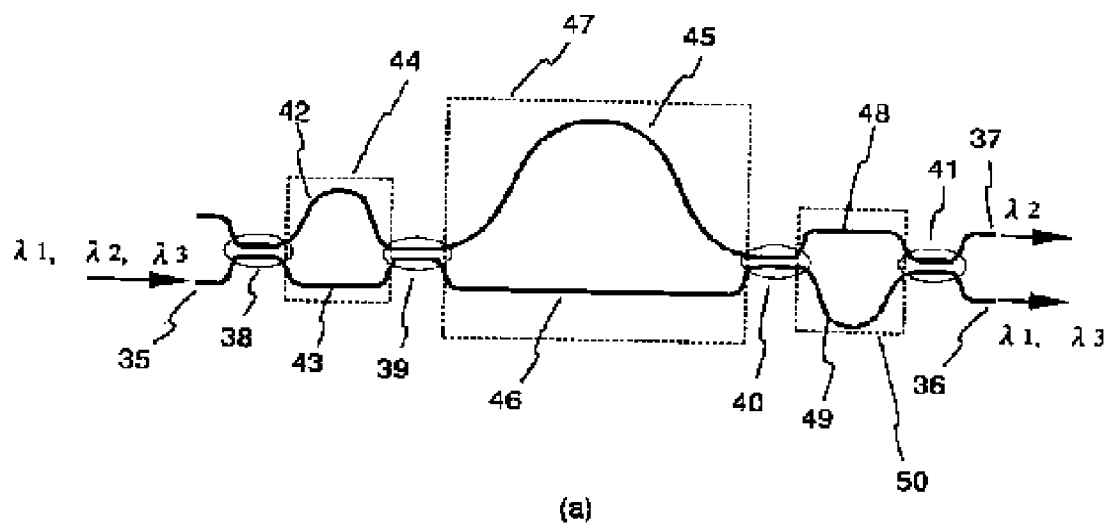


FIG.5

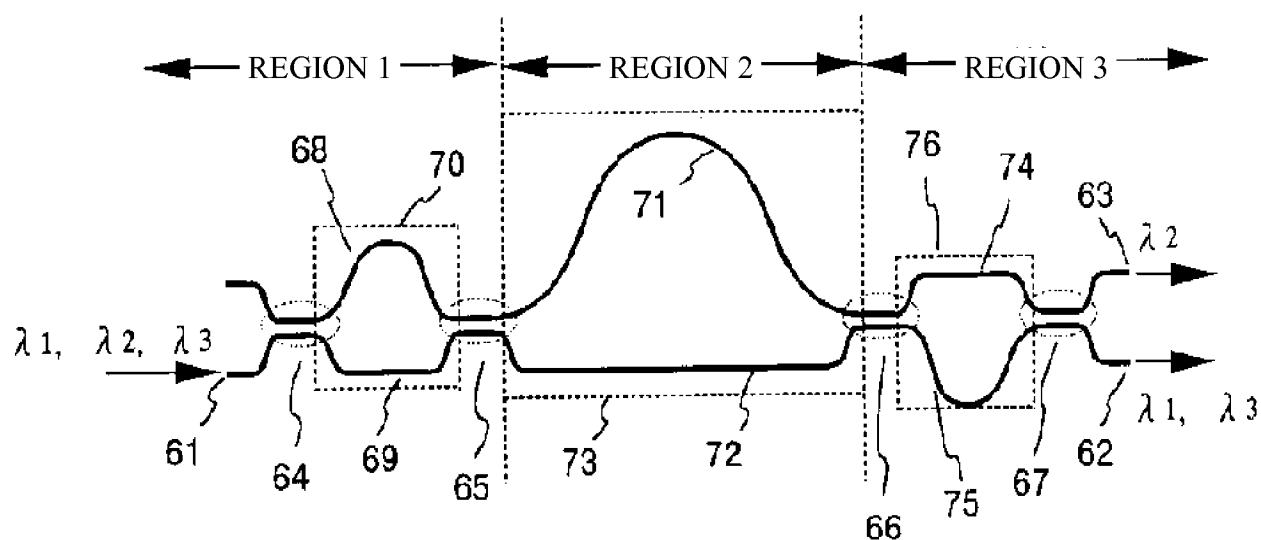


FIG.10

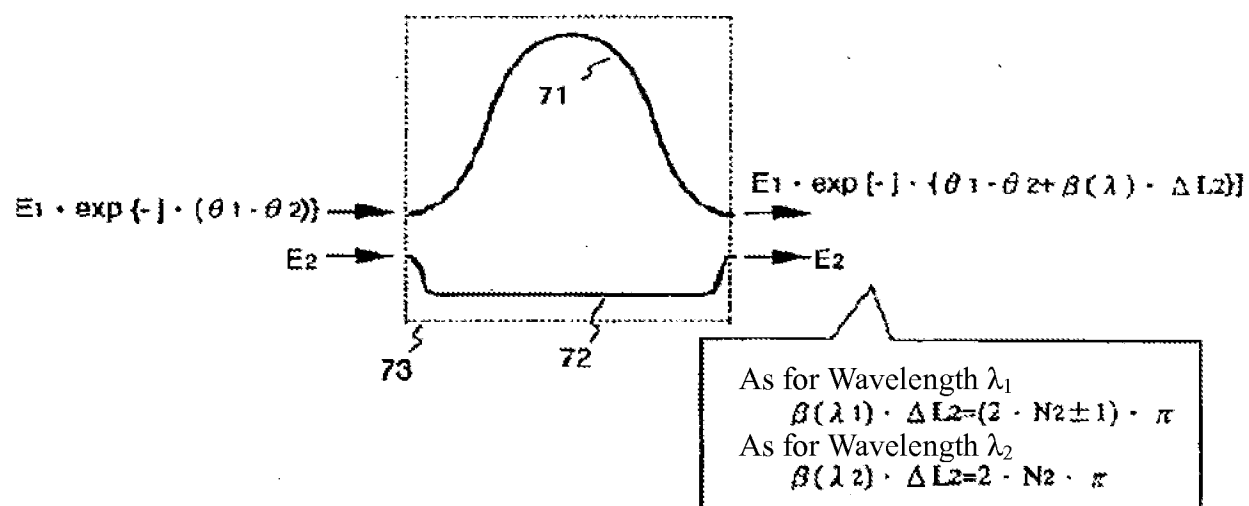


FIG.12

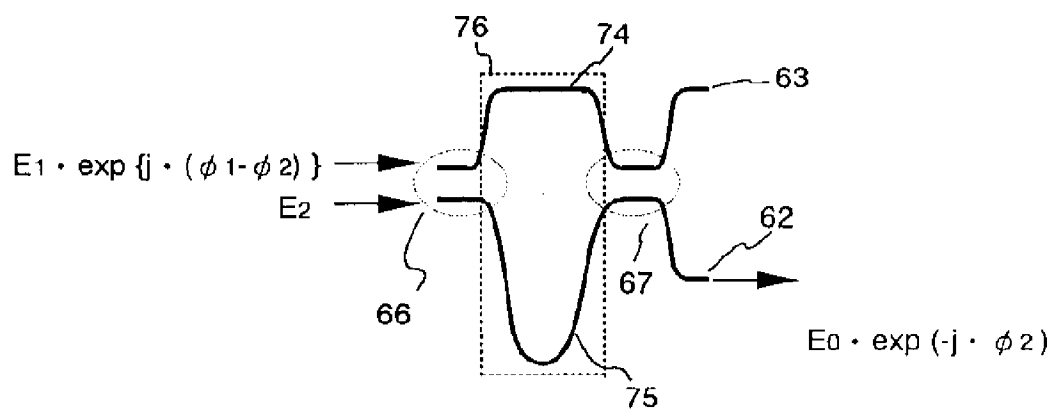


FIG.13